

## Wegener: Las Piezas Perdidas<sup>1</sup>

### *Wegener: The missing pieces*

CATHERINE LANGE Y JOSEPH ZAWICKI

SUNY Buffalo State College, Department of Earth Sciences and Science Education, 1300 Elmwood Avenue, Buffalo, NY, 14222. E-mail: [langecl@buffalostate.edu](mailto:langecl@buffalostate.edu)

**Resumen** Este artículo se refiere a una actividad de recortar y pegar Pangea usada comúnmente por el profesorado de educación secundaria que conlleva una forma inadecuada para la comprensión de la naturaleza de la ciencia (NDC) así como de la historia de la ciencia (HDC). Utilizada por lo general para entender la teoría de la deriva de los continentes de Alfred Wegener, falla en muchos niveles en lograr los objetivos fijados. Se incluye una tabla que es una herramienta pedagógica completa desarrollada para guiar al profesorado en cómo modificar sus técnicas para aumentar la comprensión de los alumnos del proceso científico. Afirmamos que se puede conseguir una comprensión más profunda y significativa de la NDC y de la HDC con el uso de la brillantez y genialidad de las ideas de Alfred Wegener tal y como él las presentó al mundo a través de su obra.

**Palabras clave:** Wegener, deriva de los continentes, naturaleza de la ciencia, historia de la ciencia, epistemología.

**Abstract** *This paper refers to a cut-and-paste Pangea activity, commonly used by secondary school teachers, that entails an inadequate understanding of the nature and history of science. Commonly used to understand the drift theory of Alfred Wegener, it fails on many levels to accomplish the set goals. A table is included that provides a comprehensive pedagogical tool to guide teachers through the process of modifying their techniques to increase students' understanding of the process of science. We claim that by using the brilliance and genius of Alfred Wegener's ideas as he presented them to the world through his book, a deeper and more meaningful comprehension of the nature and history of science can be achieved.*

**Keywords:** *Wegener, continental drift, nature of science, history of science, epistemology.*

## INTRODUCCIÓN

Muchos profesores de Ciencias de la Tierra reconocen a Alfred Wegener como la figura principal en su campo. Su notoriedad, asociada con toda propiedad con actividades para el aula, es adecuada por muchas razones. Una de las más importantes se debe al hecho de que no hay muchas teorías que el profesorado de Ciencias de la Tierra pueda incluir en su currículo. La Teoría de la Tectónica de Placas, y por lo tanto la deriva de los continentes, es parte central en la mayoría de los currículos de las Ciencias de la Tierra y ofrece un gran ejemplo de importantes aplicaciones de las Ciencias Naturales y de la Historia. Como la historia de Wegener

juega una parte integral dentro del contenido de los cursos, ubicar discusiones de sus logros dentro de un contexto humanístico facilita el que los alumnos puedan alcanzar un mejor entendimiento sobre el proceso de descubrimiento científico y de avances de conocimientos científicos, en vez de adquirir simplemente unos conocimientos superficiales sobre Wegener y su teoría de la deriva de los continentes. Este artículo argumenta que la historia de la amplia colección de evidencias científicas en numerosos campos concebida con brillantez, y la consecuente aceptación de su trabajo por la comunidad científica, es totalmente ignorada, y crea lo que en este artículo se denomina “las piezas perdidas” de las lecciones que el profesorado de Cien-

<sup>1</sup> Traducido por Jorge V. Bajo, SUNY at Buffalo, Geography Department, Wilkeson Quad., Buffalo, NY, 14226. E-mail: [jvbajo@buffalo.edu](mailto:jvbajo@buffalo.edu). (Revisado por C. M. García Cruz).

cias de la Tierra debería incorporar en sus clases. Estas piezas perdidas integran de un modo significativo el trabajo de Wegener con la naturaleza de la ciencia (NDC) y la historia de la ciencia (HDC), conceptos que muchos investigadores han citado como importantes para los alumnos, y han de entenderse si quieren que estos aprecien las ciencias como algo más que una colección de hechos. El argumento se hará usando la adaptación del Aikenhead y Ryan (1992), *Views on Science-Technology-Society* (VOSTS), como un marco teórico sobre el cual analizar parte de la historia de Wegener. La tabla resultante que se ha elaborado contiene una copiosa lista de aplicaciones para la NDC y la HDC que si se añaden al currículo existente ayudará al profesorado en su avance hacia un auténtico ambiente de aprendizaje científico.

## PRÁCTICA HABITUAL EN EL AULA


Muchos profesores de ciencias en educación secundaria incluyen una actividad que consiste en recortar y pegar Pangea para demostrar la deriva de los continentes (Fig. 1). En esta actividad, los alumnos recortan los continentes en su forma actual y después los pegan en un pedazo de papel, frecuentemente asegurándose de que Sudamérica y África estén uno al lado del otro. Los alumnos después

mueven el resto de los continentes hasta que forman una masa continental que representa Pangea. En algunos casos, las actividades disponibles de recortar y pegar proporcionan alguna de las evidencias de Wegener como son los fósiles de plantas y animales, y muchos incluso contienen dibujos de estos en los respectivos continentes de tal forma que los alumnos solo tienen que hacer que coincidan los dibujos y pegarlos. La Fig. 1 muestra una actividad que incluye fósiles en los continentes.

Otras actividades publicadas incluyen cadenas montañosas, estratigrafía de rocas, tillitas glaciares y/o yacimientos de carbón. La comparación de las evidencias que Wegener examinó con lo que se encuentra en las actividades de recortar y pegar crea preguntas sobre el valor de dicha actividad para la comprensión de la teoría en términos de la NDC y de la HDC. Si los profesores no están añadiendo los aspectos aplicables de la NDC y de la HDC, entonces ¿qué es lo que los alumnos ganan con dicha actividad?

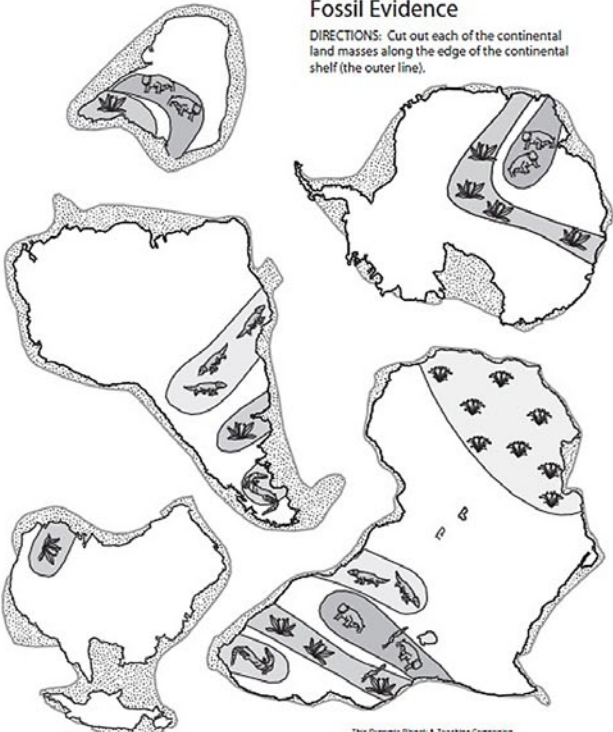
En uno de los ejemplos más conocidos, el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) sugiere a los profesores que empiecen la lección presentando información sobre Wegener; los materiales en línea incluyen un enlace a su retrato biográfico. El contenido biográfico de tres páginas en la página web del USGS comienza con una declaración muy poderosa:

Fig. 1. Ejercicio para 6º grado (11-12 años) del puzzle de Wegener. Disponible en la página web: <http://volcanoes.usgs.gov/about/edu/dynamicplanet/wegener/> (consultado el 18/05/11). Piezas: <http://volcanoes.usgs.gov/about/edu/dynamicplanet/wegener/puzzlepieces.pdf>. Leyenda: <http://volcanoes.usgs.gov/about/edu/dynamicplanet/wegener/puzzlelegend.pdf>.




### Fossil Evidence

**DIRECTIONS:** Cut out each of the continental land masses along the edge of the continental shelf (the outer line).



This Dynamic Planet: A Teaching Companion  
Wegener's Puzzling Continental Drift Evidence  
U.S. Geological Survey, 2008  
For updates see <http://volcanoes.usgs.gov/about/edu/dynamicplanet/>

U.S. Department of the Interior  
U.S. Geological Survey









### Wegener's Puzzling Evidence

**DIRECTIONS:**

1. Label the land masses on each sheet. Color the fossil areas to match the legend below.
2. Cut out each of the continents along the edge of the continental shelf (the outermost dark line). Alfred Wegener's evidence for continental drift is shown on the cut-outs. Wegener used this evidence to reconstruct the positions of the continents relative to each other in the distant past.
3. Try to logically piece the continents together so that they form a giant supercontinent.
4. When you are satisfied with the 'fit' of the continents, discuss the evidence with your partners and decide if the evidence is compelling or not. Explain your decision and reasoning on the evidence.

**Key to Wegener's Puzzling Evidence - Fossils**

-  The continents is surrounded by the continental shelf (stippled pattern), which extends beyond the continent until there is a large change in slope.
-  By about 300 million years ago, a unique community of plants had evolved known as the European flora. Fossils of these plants are found in Europe and other areas. Color the areas with these fossils yellow.
-  Fossils of the fern *Glossopteris* have been found in these locations. Color the areas with these fossils green.
-  Fossil remains of the half meter-long fresh or brackish water (reptile) *Mesosaurus*. *Mesosaurus* flourished in the early Mesozoic Era, about 240 million years ago. *Mesosaurus* had limbs for swimming, but could also walk on land. Other fossil evidence found in rocks along with *Mesosaurus* indicate that they lived in lakes and coastal bays or estuaries. Color the areas with these fossils blue.
-  Fossil remains of *Cynognathus*, a land reptile approximately 3 meters long that lived during the Early Mesozoic Era, about 230 million years ago. It was a weak swimmer. Color the areas with these fossils orange.
-  Fossil evidence of the Early Mesozoic, land-dwelling reptile *Lystrosaurus*. They reproduced by laying eggs on land. In addition, their anatomy suggests that these animals were probably very poor swimmers. Color the areas with these fossils brown.

This Dynamic Planet: A Teaching Companion  
Wegener's Puzzling Continental Drift Evidence  
U.S. Geological Survey, 2008  
For updates see <http://volcanoes.usgs.gov/about/edu/dynamicplanet/>

U.S. Department of the Interior  
U.S. Geological Survey

“Quizás la contribución más importante de Alfred Wegener al mundo científico fue su habilidad de entrelazar cosas aparentemente distintas, hechos no relacionados en una teoría, que fue extraordinariamente visionaria para su tiempo. Wegener fue uno de los primeros en darse cuenta de que para entender cómo funciona la Tierra se requería aportaciones de *todas* las Ciencias de la Tierra”.

Desafortunadamente, la forma en la cual Wegener entrelazó las “cosas aparentemente distintas, hechos no relacionados en una teoría”, no es mencionada otra vez en el contenido biográfico. A menos que el profesorado se tome el tiempo suficiente para leer la obra de Wegener, encontrarían difícil el entender a qué se referían con esa declaración de la página web. Los profesores pueden ver las evidencias fósiles proporcionadas en la actividad (y muchas otras que son similares) y explicar a los alumnos con sus propias palabras lo que Wegener escribió sobre la “existencia de numerosas especies idénticas que se sabe han vivido en muchos lugares distintos”, y que “parece inconcebible que se hubiesen originado simultáneamente, aunque de forma independiente, en estas áreas” (Wegener, 1966, p. 5). Mientras que no hay duda de que recortando y pegando los continentes en la forma que Wegener creyó que se encontraban cuando propuso la Teoría de la Deriva Continental, no es una mala actividad en sí; el problema es que si los alumnos recuerdan algo sobre dicha actividad es que esta idea de que los continentes se mueven era de Wegener. Pero no fue así. La idea fue sugerida siglos antes de la obra de Wegener, y se encuentra en muchas publicaciones. Wegener tampoco identificó las antiguas masas continentales, como Pangea, eso ocurrió algún tiempo después durante el subsiguiente debate. Algunos de los fósiles encontrados como evidencia en el ejemplo de la actividad (Fig.1) no eran conocidos por Wegener, y por lo tanto no pudieron estar incluidos en su obra. Debido a que la historia actual es reconstruida para servir a su propio propósito, el contexto histórico se pierde, y con él alguna de las lecciones importantes de la naturaleza de la ciencia (Allchin, 2000). Esta actividad de recortar y pegar (al igual que muchas otras) incluye objetivos didácticos típicos que van a cumplir:

- 1) Los alumnos observarán y analizarán evidencias científicas usadas por Wegener.
- 2) Los alumnos usarán las evidencias para formular una hipótesis.
- 3) Los alumnos defenderán su posición en la Teoría de la Deriva de los Continentes.
- 4) Los alumnos entenderán cómo los científicos elaboraron la teoría usando fósiles.

Estos objetivos son problemáticos por distintas razones. Debido a la limitada información sobre la NDC encontrada en las narraciones biográficas: a menos que el profesorado se tome un considerable tiempo para explicar a sus alumnos cómo analizó Wegener la plétora de evidencias científicas que llevaron a la formulación de las hipótesis, los alumnos tendrán problemas en completar los objetivos enumerados anteriormente. Si a los profesores y por consiguiente a los alumnos no se les da toda la historia (las piezas perdidas), entonces la interpretación de la controversia y el desarrollo de una posición es tarea imposible.

Para proveer a los profesores con una plantilla organizada que categoriza y correlaciona directamente los elementos de la NDC y de la HDC con la historia de Wegener, se elaboró una tabla (Fig. 2) usando los principios de Ryan and Aikenhead (1992, p. 559) para “ante todo relacionar la epistemología de la ciencia”. Cuando la historia de Wegener es usada con la actividad de recortar y pegar, se espera obtener respuestas de los alumnos que sólo serían posibles si estos tuviesen el conocimiento apropiado de la NDC y de la HDC en su contexto particular. Por lo tanto, mediante la creación de una tabla guía de los principios de la NDC y de la HDC se le proporciona al profesorado una herramienta valiosísima para su instrucción.

La tabla creada resume cuatro áreas que Ryan y Aikenhead (1992) desarrollaron: las características de los científicos, la construcción social del conocimiento científico, la epistemología, y la influencia de la escuela de la ciencia en la sociedad. Estas áreas son a su vez divididas en subcategorías con descripciones detalladas de los aspectos de la NDC y de la HDC que son aplicables a la historia de Wegener. Veamos a continuación la elaboración de las subcategorías con ejemplos que apoyan la historia de Wegener.

## CARACTERÍSTICAS DE LOS CIENTÍFICOS

Desde 1957, desde la investigación seminal de Mead y Metraux (1957), ha habido un aumento en el número de investigaciones en referencia a la percepción que los alumnos tienen de los científicos. La cantidad significativa de investigaciones que utiliza dibujos científicos ha producido una substancial y consistente cantidad de evidencias poderosas que sostienen el estereotipo científico como un hombre de edad media o mayor, en bata blanca, con gafas que trabaja en un laboratorio y realiza experimentos. Finson (2002) examinó durante cincuenta años este tema, y argumenta que estudios adicionales indican que profesores, antes de empezar a enseñar, tienen las mismas opiniones que los alumnos, y afirma: “Los investigadores concluyeron que no se puede asumir que los

CATEGORÍAS DE NDC Y HDC	SUBCATEGORÍAS DE LA NDC Y LA HDC	CÓMO SE RELACIONA LA HISTORIA DE WEGENER CON LAS SUBCATEGORÍAS DE LA NDC Y LA HDC
CARACTERÍSTICAS DE LOS CIENTÍFICOS	Motivación personal	Wegener nunca desistió en tratar de transmitir su teoría.
	Estándar/valores que guían a los científicos (ej., mente abierta, lógica, objetividad, y valores opuestos: mente cerrada, subjetividad, etc.)	Tener la mente abierta hizo posible que pudiese conectar investigaciones de otras disciplinas.
LA CONSTRUCCIÓN SOCIAL DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO	Decisiones científicas (ej., desacuerdos entre científicos)	Movilistas vs. Fijistas (puentes terrestres); máximo exponente: Sir Harold Jeffreys
	Comunicaciones profesionales entre científicos.	Wegener carecía de prestigio geológico y por lo tanto de credibilidad.
	Interacción profesional ante la competencia.	Continuó revisando su obra según aparecían nuevas pruebas hasta su muerte.
	Interacciones sociales	Fue un científico marginado.
	Influencia individual en el conocimiento científico.	Cambió la forma de pensar.
EPISTEMOLOGÍA	Naturaleza de las observaciones (ej., carga teórica, percepción limitada).	Datos extremadamente diversos y eclécticos de otros trabajos científicos.
	Provisionalidad del conocimiento científico	No pudo explicar <i>mecanismos</i> del movimiento de los continentes y tuvo errores en algunas de sus evidencias.
	Hipótesis, teorías y leyes (ej., definición, hipótesis, papel de las suposiciones, criterios para creer)	Aceptación de la teoría de forma póstuma veinte años después, colección de trabajos irrepetibles.
	Enfoque científico a las investigaciones (ej., la no linealidad, el rechazo de un procedimiento paso a paso, "el método científico" como un estilo de escritura).	Poco convencional (mediante un libro).
	Razonamiento lógico (ej., causa / efecto de los problemas, etiología) las suposiciones fundamentales de toda la ciencia (por ejemplo, el uniformismo)	Abrumadoras y consistentes conexiones hechas entre investigaciones multidisciplinarias.
	La condición epistemológica del conocimiento científico (ej., la ontología como un supuesto, cuestionar el positivismo lógico)	Ejemplo de trabajo no de campo o investigación empírica que culmina en teoría
	Paradigmas vs coherencia de conceptos entre las disciplinas	La revolución de Kuhn
INFLUENCIA DE LA ESCUELA DE LA CIENCIA EN LA SOCIEDAD	Puente entre las dos culturas de C.P. Snow.	El trabajo original fue impreso en alemán facilitando el acceso a las masas.
	La caracterización de la ciencia por la escuela (profesor)	Conocimiento limitado de la iniciativa científica por los maestros.

profesores, antes de empezar a su profesión, vienen a cursos de educación en ciencia con un conocimiento completo sobre qué es un científico” (p. 341). Las conclusiones de Finson sostienen que la imagen estereotipada primeramente identificada por Mead y Metraux prevalece a lo largo de todos los niveles, y en las opiniones del profesorado. Más importante aún, Finson (2002) señala que la investigación “claramente demuestra que las percepciones pueden ser impactadas de una forma positiva” (p. 342). Nociones preconcebidas del científico estereotipado pueden cambiarse cuando los profesores incorporan el realismo de un retrato humanístico con ejemplos, como Wegener.

En vez de enfocarlo en la información biográfica sobre sus estudios y su formación academia, temas que carecen virtualmente de sentido para los alumnos, una de las partes más interesantes de la historia de Wegener es la firme creencia personal que él tenía en su trabajo. Wegener fue impulsado personalmente hacia una gran variedad de investigaciones científicas que más tarde asimiló en su teoría; este estilo poco convencional de investigar está muy lejos de la práctica científica de laboratorio en la que creen los alumnos según indican los estudios realizados. Wegener no llevaba una bata blanca, y la mayor parte de su trabajo la desarrolló en una biblioteca o en un despacho, no en un labo-

ratorio. Su hazaña más impresionante fue su habilidad de conectar ideas existentes en lo que Hans Benndorf describe como una forma intuitiva. “Wegener adquirió su conocimiento principalmente de forma intuitiva, nunca o casi nunca por deducción de fórmulas” (Hallam, 1975, p. 96-97). Wilhem Max Wundt, un estudioso de Wegener, está de acuerdo con esto, y sostiene:

“Wegener empezó a abordar sus problemas científicos sólo con conocimientos rudimentarios en matemáticas, física y en otras ciencias naturales. A lo largo de toda su vida, nunca fue reacio a admitir este hecho. Sin embargo, tuvo la habilidad de aplicar esos dones muy consciente de sus objetivos. Tenía el extraordinario talento para la observación y para saber qué es a la vez sencillo e importante, y qué es lo que se puede esperar que dé resultado. A esto hay que sumar su rigurosa lógica, lo que le permitió agrupar correctamente todo lo que tenía relación con sus ideas” (en Hallam, 1975, p. 97).

Muchos alumnos, por término medio, pueden relacionarse con este retrato de una “superestrella” detrás de la teoría que están aprendiendo en el aula. Wegener no nació siendo un genio y no tuvo lo que un alumno en el estudio por Larochelle y Desautels

Fig. 2. Tabla de correlación de NDC y HDC con la historia de Wegener.



(1991) expresó como autofuncionamiento de la habilidad cognitiva:

“Para mí, los científicos eran genios, dos o tres veces más inteligentes que nosotros. Mi idea era que se despertaron una mañana y se dijeron a sí mismos: ‘Hoy, tengo que resolver este problema’. A continuación se sentaron delante de un papel y su inteligencia funcionó por sí sola. Luego produjeron conocimientos científicos (p.169).”

Guiado por la intuición que se alimentaba por la incapacidad de centrarse en una sola área de la ciencia, Wegener, que era muy versado y estaba interesado en muchos campos científicos, era de mente abierta, una característica que Hallam (1975) sugiere que le dio ventaja. Wegener, a la hora de la publicación de su obra, fue visto como un aficionado, carente de las credenciales para escribir en las áreas en que lo hacía. Su persistencia y confianza en hacer valer sus ideas se dirigieron a expertos muy diferentes de la época. En la introducción de su obra escribe:

“Esta obra está dirigida de igual manera a geodestas, geofísicos, geólogos, paleontólogos, zoogeógrafos, fitogeógrafos y paleoclimatólogos. Su propósito no es solamente proporcionar a los investigadores en estos campos un esquema del significado y utilidad de la teoría de la deriva de los continentes aplicada a sus áreas, sino que también es para orientarlos con respecto a las aplicaciones y corroboraciones que la teoría ha encontrado en áreas aparte de las suyas” (Wegener, 1966, p. viii).

Esta declaración por parte de Wegener demuestra que no estaba preocupado por escribir en áreas en las cuales no estaba considerado como un experto por sus compañeros, y demuestra su nivel de confianza al no pedir disculpas por la diversidad de ciencias con las que contaba.

## LA CONSTRUCCIÓN SOCIAL DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO

Aunque se hace hincapié en la historia y naturaleza de las ciencias en los marcos del currículo de la ciencia en los Estados Unidos y otros países, la disponibilidad de información básica para guiar a los profesores recae principalmente en los libros de texto y en cursillos de formación. Sin una formación en cómo se construye socialmente el conocimiento científico, es muy dudoso que muchos alumnos recibieran una instrucción significativa, o que su comprensión de la NDC vaya a aumentar. La inclusión de las subcategorías en la construcción social (Fig. 2) es crítica ya que la fuerza de “la inclusión de la historia

de la ciencia es la que puede describir el auténtico trabajo de los científicos en el contexto del desarrollo de la ciencia” (Lin *et al.*, 2010, p. 2522).

Existen numerosas investigaciones que apoyan la tendencia de los profesores para transmitir la ciencia como conocimiento, en lugar de como construcción social y gestión del conocimiento (Robinson, 1969; Tobin, Tippins y Gallard, 1994; Desautels y Larochelle, 1993).

Cinco áreas de la historia de Wegener se destacan como buenos ejemplos bastante útiles para ayudar a los alumnos a entender la construcción social de la ciencia, entre ellos: los desacuerdos que se dieron en la comunidad científica, cómo la comunicación profesional jugó un papel importante en la promoción de la teoría, las interacciones profesionales frente a la competencia entre los investigadores de las placas tectónicas, las interacciones sociales que afectaron la carrera de Wegener, y cómo una persona puede influir en el conocimiento científico.

Los científicos comparten la investigación a través de “las tradiciones arraigadas de la ciencia, incluyendo su compromiso con la evaluación y publicación, [que] sirven para mantener a la gran mayoría de científicos dentro de los límites de la conducta ética profesional” (AAAS, 1989, p. 20). La teoría de Wegener fue escrita, explicada e ilustrada en *The Origin of Continents and Oceans*, su libro que fue publicado por primera vez en Alemania en 1915 y más tarde traducido al inglés (y otras lenguas). Las 246 páginas del libro ofrecen una cantidad inagotable de creatividad y de datos que lo apoyan a través de una amplia gama de disciplinas que incluyen argumentos geodésicos, geofísicos, geológicos, paleontológicos, biológicos e “informes” paleoclimáticos.

La obra fue muy polémica ya que desafió de muchas formas el dogma científico existente a principios del siglo XX. Además, el hecho de que Wegener no perteneciera, en su preparación académica o en escritos anteriores, a ninguno de los grupos de investigación cuyos datos aporta, le restó el apoyo que la mayoría de los investigadores tienen a través de las asociaciones. Algunos investigadores como Sir Harold Jeffreys, profesor de física de la Universidad de Cambridge, se opusieron abiertamente a la teoría de Wegener y la refutó en una publicación titulada *The Earth* (Jeffreys, 1924). Jeffreys atacó la teoría en su punto más débil, el mecanismo de movimiento de las masas continentales. Pero el mismo Wegener era muy consciente de la controversia y actualizó su obra en tres ocasiones entre 1915 y 1922. En 1922 empezó a ganar audiencia internacional cuando fue traducido al inglés. La magnitud de la interacción social entre la comunidad científica alrededor de su teoría fue el resultado de la comunicación científica, una parte muy importante del avance del conocimiento científico y un importante aspecto que los profesores podrían capitalizar como un ejemplo para compartir con los alumnos. “Los

científicos están influenciados por la sociedad, por la cultura y por creencias personales, y en la forma en la que ven el mundo. La Ciencia no está separada de la sociedad sino que es parte de ella” (NRC, 1996, p. 201). El mismo Wegener entendió la crítica contundente a la que fue sometido, y contrario a su habilidad para tener una visión multidimensional y teóricamente interdependiente de la teoría, su respuesta a sus críticos fue clara:

“Somos como un juez enfrentado a un acusado que se niega a responder, y tenemos que determinar la verdad usando evidencias circunstanciales. Todas las pruebas que podemos reunir tienen el carácter engañoso de este tipo de pruebas. ¿Cómo evaluaríamos a un juez que basó su decisión solamente en partir de los datos disponibles?” (en Hallam, 1973. p. 7).

Este ejemplo del nivel de control al que la ciencia se somete durante el período de revisión por un grupo especialistas no se transmite fácilmente a los alumnos por el mero hecho de que no hay ejemplos conocidos o disponibles. Probablemente la parte más impactante de la historia de Wegener es la influencia que una persona puede tener sobre el avance del conocimiento científico. Si bien normalmente se carece de la información necesaria en los libros de texto y sobre la formación de Wegener para que los profesores entiendan con facilidad la NDC y la HDC, la mayoría de los profesores (y alumnos) saben que Wegener fue una persona muy importante. El alcance de lo mucho que influyó en el desarrollo de la ciencia, y en particular en las ciencias de la tierra, por lo general, no es indicado en los materiales de apoyo disponibles para el aula. Muchos escritos retratan a Wegener de una forma “muy simplista”, donde es “asignado como el héroe en su historia en el papel del profeta científico de la verdad, ignorado al principio, pero al que al final se le dio la razón” (Hessenbrunch, 2000, p. 149).

## EPISTEMOLOGÍA

La adhesión a las subcategorías de la NDC y la HDC establecidas previamente en este artículo (Fig. 2), la naturaleza de las observaciones, la provisionalidad de la ciencia, hipótesis, teorías y leyes, el método científico, el razonamiento lógico, la situación epistemológica del conocimiento científico y el paradigma de la historia de Wegener, se considerarán como temas de debate epistemológico.

Las observaciones que Wegener recopiló para apoyar su teoría fueron enormes y llenan las páginas de su obra. Mientras que algunas resultaron ser incorrectas con el paso del tiempo, la mayoría de sus ideas eran adecuadas y provocó que numerosos científicos estudiaran la validez de su teoría. Allchin

(2000) señala que “abordar el problema del error histórico, por lo tanto, es fundamental. Contribuye a la comprensión de la justificación de la naturaleza de la ciencia, así como de sus límites” (p. 35). Dado que muchos alumnos llegan a las clases de ciencias con ideas equivocadas acerca de la ciencia, la noción de que esto es común en la ciencia y que fue experimentada por los mejores científicos conocidos (como Wegener) puede contribuir a la aceptación de que ésta es la forma en la que la ciencia funciona. Algunas de las piezas más impresionantes y apropiadas para el profesor que Wegener promovió como observaciones fueron las siguientes:

### Evidencia geológica:

- 1) Los continentes encajan como un rompecabezas.
- 2) Las cordilleras montañosas encajan: ej. los Apalaches y las Tierras Altas de Escocia.
- 3) Correlación en la estratigrafía de las rocas: ej. Karroo en Sudamérica y Santa Catarina en Brasil.
- 4) Yacimientos de carbón compartidos por Gran Bretaña, Bélgica y áreas de los Apalaches.
- 5) Los campos diamantíferos en Sudáfrica y Brasil.
- 6) La banda de arenisca roja que pasa a través de Noruega, Gran Bretaña, Groenlandia y Canadá.
- 7) Las tillitas que aparecen en zonas comunes de glaciares profundos de la misma edad geológica y que concuerdan con la secuencia de la capa horizontal con índice de fósiles.
- 8) Depósitos de sal y yeso con similar composición química.
- 9) Capas de depósitos eólicos de arena que indican antiguos desiertos.

### Evidencia en los fósiles:

- 1) *Glossopterris*: un helecho que se encuentra en los continentes meridionales.
- 2) Mesosaurus: unos reptiles de agua dulce encontrado en África y en América del Sur.

### Evidencia biológica:

- 1) Los marsupiales australianos y las zarigüeyas sudamericanas comparten los mismos parásitos.
- 2) Las lombrices terrestres en Europa y América eran similares y no se encuentran en ningún otro continente.

Wegener incluyó muchos otros ejemplos en su obra, abundantes notas a pie de página en las que consideraba cada pieza en apoyo de la investigación científica de su teoría.

Esta ecléctica colección de informaciones es lo que tradicionalmente se considera como los “datos” del modelo lineal del método científico. Los alumnos y algunos profesores perciben la evidencia científica

absoluta, con lo que las teorías finalmente pueden convertirse con el tiempo en leyes, y las hipótesis se vean como “conjeturas”. Además, la creencia en un único método científico universal es “uno de los más generalizados”. Los errores más preocupantes, sin embargo, implican la noción de que las pruebas que se recogen cuidadosamente darán lugar a cierto conocimiento, que la ciencia proporciona la prueba absoluta, y que los científicos son particularmente objetivos (McComas, 1996). El método de Wegener, que en última instancia se ha convertido en la teoría bien conocida y aceptada de la tectónica de placas, no era el mal entendido método lineal (observaciones, datos, hipótesis, teoría, y la ley), sino el método científico, el enfoque hipotético-deductivo (HD). Eastwell (2010) establece que los alumnos que ofrecen este tipo de enfoque de alta definición, “están en el centro de cómo avanza la ciencia, la forma más explícita, y a menudo con el uso de la misma en las aulas, la ciencia tendría un impacto positivo en el desarrollo de la cultura científica” (p. 11).

Mientras que una simple actividad de cortar y pegar sugiere una respuesta a un problema científico, una exploración más profunda de la evidencia apoya firmemente el carácter provisional de la ciencia y el impacto de las creencias personales sobre las decisiones de los científicos. La naturaleza única de una teoría científica está bien demostrada en la historia de Wegener. Esta conexión es demasiado importante para que los alumnos se la pierdan.

## INFLUENCIA DE LA CIENCIA EN LA SOCIEDAD

La famosa conferencia que C.P. Snow dio en 1959 sobre las dos culturas -una de la ciencia, otra de las humanidades- habla de nuestras creencias fundamentales y de nuestra capacidad para funcionar en la sociedad. La era actual de los usuarios de mensajes de texto y Twitter ha creado una clara división entre aquellos que cuentan con las habilidades y recursos tecnológicos y los que no. De la misma manera, el doctorado de Wegener en astronomía y la falta de notoriedad en el campo de la geología, hablan de su existencia como un “intruso”, pero no se parte de la comunidad científica a la que estaba dirigida su obra. Para Wegener, atreverse a tomar una postura, en particular, sin haberse movido en el escalafón académico en esta área, fue visto por muchos como un obstáculo insuperable. El trabajo de Wegener no podía ser válido, ya que no formaba parte de la “fraternidad” académica. Esta noción de “iniciados” y “forasteros” habla de la NDC y de los obstáculos que se superaron en la HDC. También sirve como mito cultural de Wegener como profeta científico de la verdad (Hessenbruch, 2000).

Como se ha señalado en *La estructura de las revoluciones científicas*, el advenimiento de la mayoría de las teorías radicales viene acompañada de

una enorme controversia (Kuhn, 1962). La idea de puentes terrestres prehistóricos permanentes estaba bien establecida; muchos miembros de la comunidad científica sostenían esta creencia con tenacidad. Mientras que muchos ingenuamente asumen que la ciencia es imparcial y objetiva, la resistencia de la comunidad científica por el trabajo de Wegener revela la verdadera naturaleza y la historia de la ciencia, y ofrece una oportunidad de suma importancia para discutir los cambios de paradigma y las revoluciones científicas.

El cambio en la estructura y la delimitación de las ciencias de la Tierra en su conjunto es otro interesante paradigma de Kuhn. J. Tuzo Wilson, eminente geólogo de la Universidad de Toronto, reconoció el papel que tenía la teoría de Wegener en el campo de las ciencias de la tierra en su conjunto:

“La aceptación de la deriva continental ha transformado las ciencias de la Tierra de un grupo de estudios más bien poco imaginativo basado en interpretaciones corrientes de los fenómenos naturales, en una ciencia unificada excitante y dinámica, y que ofrece la promesa de grandes avances prácticos para el futuro” (*Scientific American*, 1972, p.iii).

Las predicciones de Wilson y sus observaciones de hace unos cuarenta años, han llegado definitivamente a buen término.

Es obvio que los profesores no pueden enseñar lo que no entienden (Abd-El-Khalick y Lederman, 2000). Más allá de que exista una falta de comprensión, la cuestión más importante puede ser que los profesores describen ideas erróneas sobre la NDC e HDC, en particular con la actividad de cortar y pegar Pangea por las razones expresadas en este artículo. Este problema de la carencia de información básica crea un ciclo duradero de caracterizaciones inexactas de la ciencia. El estudio seminal de Gallagher, en 1991, examinó los puntos de vista sobre la NDC representados por los alumnos en escuelas secundarias americanas. Revisó los libros de texto así como la práctica escolar de los profesores, y concluyó que la naturaleza de la ciencia transmitida a los alumnos es “tanto errónea como inapropiada” (Gallagher, 1991, p. 132). Muchos otros investigadores han encontrado resultados consistentes en el análisis de deficiencias en NDC e HDC en la preparación inicial de los profesores antes de empezar su labor como enseñantes, los materiales de aula disponibles y los métodos de instrucción necesarios capaces de manejar adecuadamente las aplicaciones de la NDC e HDC sin orientación y recursos (Driver *et al.*, 1996, Ryder *et al.*, 1999, y Brickhouse *et al.*, 2000). Las posibles aplicaciones limitadas de la NDC y los ejemplos sobre HDC que tienen la profundidad y la amplitud para poder hacer frente a las subcategorías de la tabla diseñada, pueden ayudar a los profesores

en la planificación de temas basados en la NDC y en la HDC. Es de esperar que si el profesorado puede identificar las áreas, lleguen a ver a través de este ejemplo lo valioso que pueden ser las piezas que faltan como herramienta pedagógica para la NDC y la HDC.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abd-El-Khalick, F. y Lederman, N.G. (2000). The Influence of History of Science Courses on Students' Views of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 37.10, 1057-1095.
- Aikenhead, G. y Ryan, A. (1992). The development of a new instrument: "Views on Science-Technology-Society" (VOSTS). *Science Education*, 76.5, 477-491.
- Allchin, D. (2000). How not to teach the history of science. *Journal of College Science Teaching*, 30, 33-37.
- American Association for the Advancement of Science (AAAS) (1989). *Project 2061: Science for All Americans*, AAAS, Washington, DC.
- Brickhouse, N.W., Dagher, Z.R., Letts, W.J. y Shipman, H.L. (2000). 'Diversity of Students' Views About Evidence, Theory, and the Interface Between Science and Religion in an Astronomy Course', *Journal of Research in Science Teaching*, 37.4, 340-362.
- Désautels, J., Larochelle, M., Gagné, B. y Ruel, F. (1993). La formation à l'enseignement des sciences: le virage épistémologique. *DIDASKALIA*, 1, 49-67.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R. y Scott, P. (1996). *Young People's Images of Science*, Open University Press, Buckingham.
- Eastwell, P. (2010). The scientific method: Critical yet misunderstood, *Science Education Review*, 9.1.
- Finson, K. (2002). Drawing a scientist: What do we do and do not know after fifty years of drawings. *School Science and Mathematics*, 102.7, 335-346.
- Gallagher, J. (1991). Prospective and practicing secondary school science teachers' knowledge and beliefs about the philosophy of science. *Science Education*, 75.1, 121-133.
- Hallam, A. (1973). *A revolution in the Earth sciences: From continental drift to plate tectonics*. Oxford: Clarendon Press.
- Hallam, A. (1975). Alfred Wegener and the hypothesis of continental drift. *Scientific American*, 232.2, 88-97.
- Hassenbruch, A. (2000). *Readers guide to the history of science*. Fitzroy Dearborn Publishers: London.
- Jefferys, H. (1924). *The Earth, Its Origin, History and Physical Constitution*. Cambridge University Press.
- Kuhn, T. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. The University of Chicago Press.
- Larochelle, M. y Desautels, J. (1991). The epistemological turn in science education: the return of the actor. In Duit, R., Goldberg, F. & Neidderer, H. (eds.) *Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies* (155-175). Kiel, ALL: Institute for Science Education.
- Lin, C., Cheng, J., y Chang, W. (2010). Making science vivid: Using a historical episodes map. *International Journal of Science Education*, 32.18, 2521-2531.
- McComas, W. (1996). Ten myths of science: Reexamining what we think we know...., 96, *School Science & Mathematics*.
- Mead, M. y Metraux, R. (1957). Image of the scientist among high-school students. *Science*, 126.3270, 384-390.
- National Research Council (NRC) (1996). *National Science Education Standards*, National Academy Press, Washington, DC.
- Robinson, J.T. (1969). Philosophy of science: Implications for teacher education. *Journal of Research in Science Teaching*, 74.2, 99-104.
- Ryder, J., Leach, J., y Driver, R. (1999). Undergraduate Science Students' Images of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36.2, 201-220.
- Scientific American. (1972). Readings from Scientific American: Continents Adrift with introduction by J. Tuzo Wilson. San Francisco: W.H. Freeman and Company.
- Snow, C.P. (1960). *The Two Cultures*. Cambridge: University Press.
- Tarling, D. & M. (1971). *Continental drift: A study of the Earth's moving surface*. New York: Doubleday.
- Tobin, K, Tippins, D. y Gore, J. (1990). Teacher socialization. In Houston, R.W. (eds.), *Handbook of research on teacher education* (329-348). Nueva York: Macmillan.
- United States Geological Survey (2011). *Alfred Lothar Wegener: Moving continents*. Disponible en: <http://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/wegener.html>. (Consulta: 18/05/11).
- United States Geological Survey (2011). *Wegener's Puzzling Exercise*. Disponible en: <http://volcanoes.usgs.gov/about/edu/dynamicplanet/wegener/>. (Última consulta: 18/05/11).
- Wegener, A. (1966). *The origin of continents and oceans*. Nueva York: Dover. ■

Artículo solicitado desde E.C.T. el 8 de septiembre de 2010 y recibido el 5 de mayo de 2011; aceptado definitivamente para su publicación el 2 de septiembre de 2011.